

高速原子間力顕微鏡を用いた金ナノ微粒子操と プラズモンナノイメージングへの応用

[1] 組織

代表者：中尾秀信

(物質・材料研究機構)

対応者：岩田 太

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

城子正道 (静岡大学大学院 工学研究科)

[2] 研究経過 (以下10.5ポイント)

原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscope : AFM) はナノスケールでの試料表面の物性の計測やマニピュレーションを可能にする顕微鏡である。しかし、一般的に AFM による測定では試料表面の形状像を取得するのに数分以上の時間が必要である。また、AFM の探針を用いたマニピュレーションにおいてマニピュレーション中の様子を観察できない問題がある。このことより AFM におけるリアルタイムでの観察が望まれている。

これらの問題に対し、画像取得の時間を大幅に改善した AFM の研究が進められている。高い共振周波数を持つ音叉型水晶振動子によってコンタクトモードで高速走査を行い、カンチレバーのたわみから画像取得を行う方法や回路およびスキヤナの応答時間を大幅に改善し、高い共振周波数を持つ微小なカンチレバーによるタッピングモードで高速フィードバックを行い画像取得する方法などが報告されている。

本研究ではコンタクトモードおよびタッピングモードでの高速画像取得技術とマニピュレーション技術を複合化した高速 AFM 装置を開発し、これにより、リアルタイムでモニタリングしながらマニピュレーションするシステムを実現した。本システムを用いて金ナノ微粒子を任意の位置に制御性良く動かし、プラズモン導波路等のナノ光デバイス構築の手法を検討した。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。これまで走査型プローブ顕微鏡を開発してきており、

ナノ微粒子のマニピュレーション法を検討する上で AFM ナノマニピュレータの開発を行うに至った。そこで、本プロジェクトでは、これまでの成果を踏まえながら、AFM を用いたマニピュレータの開発とナノ微粒子のまにプレーション法に関する研究を展開した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

[3] 成果 (以下10.5ポイント)

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

・タッピングモード高速AFMの開発

本研究で開発する高速画像取得可能な AFM の装置を構築した。開発した実験装置は AFM ユニット、たわみ検出系、振幅計測回路、位相シフト回路、制御回路、正弦波発生装置、圧電素子駆動回路、ハプティックデバイスおよび PC から構成される。カンチレバーのたわみ検出は光てこ法を使用する。光てこ法ではカンチレバーの背面にレーザー光を照射し、反射されたレーザー光を分割された光検出器で検出することでカンチレバーのたわみねじれの変位を検出する。タッピングモードでの画像取得では圧電素子によってカンチレバーを共振周波数付近で振動させ走査を行う。タッピングモードはコンタクトモードと比較して観察時の試料へ与えるダメージが非常に小さい。

画像取得時は高速で走査を行い、自作開発した振幅計測回路によって検出されたカンチレバーの振動振幅の変化を PC に入力し、画像取得を行った。また、Z 軸方向のフィードバックは画像取得中に探針と試料が完全に離れるのを防ぐようにフィードバック制御を行った。

高速画像取得用の高速スキヤナはチューブ型スキヤナの上に高速走査軸用のヒンジ型スキヤナを搭載した構成とした。画像取得中、チューブ型スキヤナは試料-探針間の距離を保つ Z 軸方向の制御を行うために使用した。

マニピュレーションを行う際はハプティックデバ

イスを使用し、カンチレバーの探針を試料の任意の位置に動かし、制御目標値を切り替えることで力覚によるマニピュレーションを実現した。

・ヒンジ型高速スキヤナの開発

本研究ではXY軸方向に高速応答可能なXYヒンジ型スキヤナを開発した。XYヒンジ型スキヤナの中央のサンプルステージは四方からの2本の板バネで支持し、四辺に取り付けられた圧電素子の向かい合う2つがそれぞれプッシュプルに駆動することでサンプルステージを移動させる機構とした。

・金ナノ微粒子のマニピュレーション

コンタクトモードでの高速AFMではマニピュレーションのためにばね定数の高いカンチレバーを使用すると観察時に試料表面を傷つけてしまう。また、微粒子等のマニピュレーションでは画像取得時の走査において微粒子を引きずってしまうという問題が生じる。これに対してタッピングモードによる高速AFMでは探針と試料の接触が少ないのでばね定数の高いカンチレバーを用いても試料表面を傷つけてしまうことがほとんどない。また、探針が上下に振動しているため探針の試料表面への凝着が生じにくく、横方向の力がほとんど働かない。そのため、ナノ微粒子を引きずってしまうこともない。また、定期的に自動で高速画像取得を行うようにプログラミングすることでマニピュレーション中の様子を確認しながら操作することができる。

本研究では、本装置を用いて、金ナノ微粒子を分散させたガラスまたはマイカ基板表面上においてナノスケールで位置決めされた高精度なマニピュレーションを実現し、所望の位置に再配置した。しかしながら光導波路となるほどの長さでナノ微粒子を並べるに至っていない。光学顕微鏡を用いたプラズモンセンシングへの応用へは至らなかった。今後、マニピュレーションの条件を再検討し、本AFMシステムの改良により、ナノスケールで微粒子の再配置を調整することで、プラズモンナノイメージングにおいてどのような波長と強度で発光するかなど光学的特性を評価する予定である。また、我々はこれまでにDNAをテンプレートとして金属を析出させるプラズモン導波路を自己組織的に作成する研究にも取り組んでおり、このナノスケール細線の本装置で

操作し、再配置することで、どのように発光特性が変化するかなどについても今後の課題として取り組む予定である。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究で開発するナノマニピュレーションシステムはリアルタイムでAFMによるナノスケール観察をしながら、カンチレバーでナノ微粒子を移動させたり、基板や試料対象を加工したりすることが可能なシステムであり、理工学から医学、生物学など大変広い応用範囲が期待できる。本研究では光ナノイメージングに関連した応用に取り組むべく、金ナノ微粒子のマニピュレーションを扱った。今後はマニピュレーションの制御性を改善することでプラズモン光導波路を試作予定である。光学的なナノプラズモンイメージングを実現し、ナノフォトニクスの特性を明らかにすることで、イメージングおよび光ナノデバイスの分野において成果が期待できる。

本プロジェクトは、精密工学会や位置決め国際会議において発表した際、学外研究者に大変興味と関心をもっていただき、その後、研究室見学など交流が活性化した。また代表者が毎年開催している苦手会という異分野の研究者が集まってお互い特異な部分と苦手な部分を補いあって共同研究をする研究会にも参加した。このように外部研究者との共同研究の今後の発展が期待できる。

[4] 成果資料 (以下10.5ポイント)

- (1) T. Takai, H. Nakao, and F. Iwata "Three-dimensional microfabrication using local electrophoresis deposition and a laser trapping technique", *Optics Express* 22(23) (2014) 28109-28117
- (2) M. Shiroko, I. Ishisaki, and F. Iwata, "Positioning manipulation of nanoparticles using a high-speed AFM in tapping mode", 6th International Conference on Positioning Technology 2014, pp122-126 2014.11.20 (Kitakyushu)

出張報告（特別教育研究経費を使用した場合について、全員分記載して下さい。）

今年度は主に学会や研究会で十分な打合せができたので本予算での出張はありませんでした。